

一种考虑图像缩小后特征萎缩的防伪水印算法

王明蓉

(乐山师范学院, 计算机科学学院, 四川 乐山 614004)

摘 要: 研究缩小图像的防伪水印问题, 针对传统三维网格防伪水印算法只对正常拍摄的图像效果好, 对缩小图像加入水印后, 防伪水印的不可见性和图像的抗攻击性均变弱的弊端, 提出了一种考虑图像缩小后特征萎缩的防伪水印算法. 对于缩小图像, 由于其图像特征萎缩, 需要将三维模型变换为二维数值矩阵, 并采用离散余弦变换进行二维分块; 然后采用粒子群优化算法找到防伪水印的最优嵌入位置, 将防伪水印信息嵌入到最佳位置, 最后通过逆变换得到含有防伪水印的三维网络图像. 仿真结果表明, 该方法嵌入的防伪水印不仅可抵抗多种不同类型攻击, 而且具有良好的不可见性, 比传统算法防伪准确性提高了 64%, 抗攻击性提高了 25%, 为图像的版权保护提供了有力支持, 在数字图像作品版权保护中具有极强的实际应用价值.

关键词: 缩小图像模型; 防伪水印; 离散余弦变换; 几何攻击

中图分类号: TP391

文献标识码: B

文章编号: 1000—7180(2014)10—0151—05

A Consider Image Characteristics of the Reduced Contraction of Anti-Counterfeiting Watermark Algorithm

WANG Ming-rong

(School of Computer Science, Leshan Normal University, Leshan 614004, China)

Abstract: Research the narrow image of watermark security problems. In view of the traditional three-dimensional grid anti-counterfeit watermarking algorithm for normal images taken effect is good, to reduce the image watermarking, anti-counterfeiting watermark invisibility and image of the disadvantages of aggression are weaker. Is suggested to consider an after shrinking anti-counterfeiting watermark algorithm of reduction characteristics. To reduce images, shrinking due to its image characteristics, needs to be 3 d model transformation for 2-d numerical matrix, and USES the two-dimensional block discrete cosine transform; And then USES the particle swarm optimization algorithm find the optimal anti-counterfeiting watermark embedding positions, to embed the anti-counterfeiting watermark best position, finally with anti-counterfeiting watermark is obtained by inverse transformation of three-dimensional network image. Simulation results show that the method of embedded anti-counterfeiting watermark not only can resist a variety of different types of attacks, and has good invisibility, anti-counterfeiting accuracy increased by 64% than the traditional algorithm, resistance to attack increased by 25%, for image copyright protection provides a strong support, in the work of digital image copyright protection with strong practical application value.

Key words: Reduce the image model; Anti-counterfeiting watermark; Discrete cosine transform; Geometric attacks

1 引言

随着图形技术和网络技术发展, 多媒体信息交流日益广泛, 人们可以通过网络传输各类三维数字

产品(动画、视频和三维数字产口等), 同时非法复制、修改数字产品, 对版权进行侵权越来越严重. 在充分利用网络的同时, 如何保护三维数字版权显得

收稿日期: 2014—01—07; 修回日期: 2014—02—26

基金项目: 四川省教厅青年基金项目(12ZB053, 13ZB0105)

成为重要^[1], 防伪水印技术具有不可感知性, 为数字媒体版权保护提供一种有效的解决方案^[2].

1997 年 ohbuch 等第一次提出了三维网格图像水印概念以后, 国内外研究者在此基础展开了大量科学研究, 取得了一定的研究成果^[3]. 按照防伪水印嵌入位置不同, 三维网格图像防伪水印技术可以分为空域和频率防伪水印^[4]. 基于空域的三维网格图像防伪水印算法主要有: 三角形相似四元组法、顶点束算法等^[5-6]. 基于频率的三维网格图像防伪水印算法主要有小波变换法、仿射不变量法等对于三维防伪水印, 国内对此研究较少^[7-8]. 相对于二维防伪水印, 三维网格图像防伪水印复杂度要高, 为此有学者提出首先将三维网格图像转化成二维网格, 然后将防伪水印嵌入到二维数值矩阵中, 最后对嵌入后的数据进行逆变换, 得到含有防伪水印的三维网格图像, 加快了防伪水印嵌入的速度, 减少了复杂度^[9]. 但是由于采用遗传算法寻找最佳嵌入位置, 而遗传算法具有收敛速度慢、易获得局部最优解的缺陷, 因此如何寻找更优的最佳嵌入位置, 成为提高了三维网格图像防伪算法的关键^[10].

为了更好地提高缩小图像防伪水印的不可见性与抗攻击性, 提出了一种考虑图像缩小后特征萎缩的防伪水印算法^[11]. 针对缩小图像, 采用本文算法找到防伪水印最优嵌入位置, 提取出缩小图像的特征信息, 然后将防伪水印嵌入到最佳嵌入位置, 最后通过数据逆变换得到含有防伪水印的三维网络, 并通过具体实例对该三维网格缩小图像防伪水印技术进行测试, 验证其有效性.

2 三维网格图像防伪水印算法

2.1 三维网格图像防伪水印工作原理

三维网格图像防伪水印是将用防伪嵌入技术将具有特定意义的标记隐藏于三维缩小图像模型数据中, 当要证明版权时, 可以通过防伪水印检测技术提取出嵌入缩小图像的标记, 是一种有效的数字媒体版权保护手段. 三维数字网格防伪水印算法包括防伪水印生成和检测两个阶段. 离散余弦变换和粒子群算法相融合的三维网格缩小图像防伪算法工作原理如图 1 所示.

2.2 粒子群优化算法

在粒子群优化(PSO)算法中, 粒子在解空间追随当前最优粒子的解空间中搜索, 通过不断迭代找到最优解, 且在每一次迭代中, 粒子通过跟踪粒子本身所找到的当前最优解和种群当前最优解不断更新

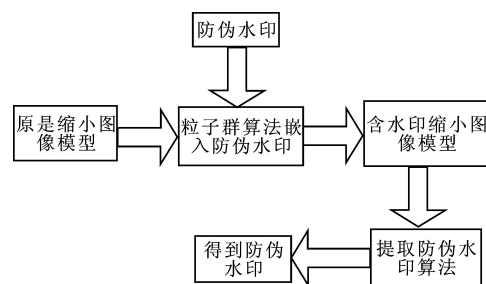


图1 三维网格图像防伪水印算法工作原理

自己的速度和位置.

设 $x_{i,j}$ 和 $v_{i,j}$ 分别表示粒子 i 当前的位置和速度, $p_{i,j}$ 和 $p_{g,j}$ 分别表示粒子 i 和群体经历过的最好位置, 每个粒子的速度和位置通过式(1)和(2)进行更新.

$$v_{i,j}(t+1) = \omega v_{i,j}(t) + c_1 r_1 [p_{i,j} - x_{i,j}(t)] + c_2 r_2 [p_{g,j} - x_{i,j}(t)] \quad (1)$$

$$x_{i,j}(t+1) = x_{i,j}(t) + v_{i,j}(t+1), j = 1, \dots, d \quad (2)$$

式中, i 表示第 i 个粒子; d 为解空间的维数; c_1 和 c_2 分别为加速度步长; r_1 和 r_2 为 $[0, 1]$ 随机数; t 表示第 t 次迭代; ω 为线性递减惯性权重, 即:

$$\omega = \omega_{\min} + (\omega_{\max} - \omega_{\min}) \times t / \text{gen} \quad (3)$$

式中, gen 为迭代执行最大次数.

在基本 PSO 算法寻优过程中, 线性递减权重不能很好的适应, 因此对惯性权重因子进行改进, 其 ω 调整公式为

$$\omega = \begin{cases} \omega_{\min} + (\omega_{\max} - \omega_{\min}) \times \Delta \times e^{-4\Delta}, & f \leq f_{\text{avg}} \\ \omega_{\max}, & f > f_{\text{avg}} \end{cases} \quad (4)$$

式中, $\omega_{\max}$ 和 $\omega_{\min}$ 分别为 ω 最大和最小值; $\Delta = (f - f_{\min}) / (f_{\text{avg}} - f_{\min})$; f 为粒子当前目标函数值; f_{avg} 和 $f_{\min}$ 分别为所有粒子的平均值和最小目标值.

从式(4)可知, 其第一部部分是和粒子目标数值相关的自适应惯性权重, 保证进化初期粒子具有多样性; 第二部分引入降幂指数, 进化初期具惯性权重较大, 随着代数增加, 惯性权重下降, 这样一旦到达局部极小值, 就可以跳出.

设第 i 个粒子有 n 邻居, 则 $n+1$ 个粒子可以表示为 $(p_1, p_2, \dots, p_{n+1})$, $n+1$ 个粒子位置的平均值为

$$p_o = \sum_{i=1}^{n+1} \frac{p_i}{n+1} \quad (5)$$

改进 PSO 算法的速度更新方程为

$$v_{i,j}(t+1) = \omega v_{i,j}(t) + c_1 r_1 [p_{i,j} - x_{i,j}(t)] + c_2 r_2 [p_{g,j} - x_{i,j}(t)] +$$

$$c_3 r_3 \omega_1 [p_{ak}(t) - x_{ik}(t)] \quad (6)$$

$$\omega = \omega_{\min} + (\omega_{\max} - \omega_{\min}) \times t/t_{\max} \quad (7)$$

式中, c_3 为非负常数; r_3 为在 0 到 1 间均匀分布的随机数; ω_1 为局部平均值 $p_{ak}(t)$ 的权系数。

3 三维网格缩小图像防伪水印算法描述

3.1 三维模型变换为二维数值矩阵

考虑到缩小图像的图像特征也会相应发生萎缩,因此首先将三维网格缩小图像模型几何中心进行平移,使其与直角坐标系原点对应,然后以三维网格缩小图像模型的几何中心为原点,计算网格各顶点在平面坐标系中的坐标值,这样就可以得到顶点到原点的距离(ρ)逆时针方向与 X 轴的夹角(θ),与平面 XY 的夹角(Φ),三维模型变换为二维数值矩阵具体过程如下:

(1) θ 和 Φ 取值范围分别为 $[0, 2\pi]$ 和 $[-\pi/2, \pi/2]$, 将它们均划分为 N 等分, 形成 $N \times N$ 个方格, 计算落入每个小格子中的所有顶点 ρ 值的平均值, 得到一个 $N \times N$ 的二维数值矩阵 A , 即有

$$A = \begin{bmatrix} \rho_{11} & \rho_{12} & \cdots & \rho_{1n} \\ \rho_{21} & \rho_{22} & \cdots & \rho_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{n1} & \rho_{n2} & \cdots & \rho_{nm} \end{bmatrix} \quad (8)$$

(2) 考虑到网格模型可能会遭受缩放攻击, 导致二维数值矩阵 A 中的元素变化范围较大, 为此, 对 A 中元素进行归一化处理, 使它们处于 0, 255 范围内, 归一化后二维数值矩阵为 I , 为了与 ρ 区别, I 中的元素值记为 r , 即有

$$I = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (9)$$

3.2 三维网格缩小图像模型顶点修正

三维网格缩小图像模型通常可以会受到旋转和顶点重排序攻击, 还有由于加入水印后, 图像特征会发生萎缩, 因此三维模型基于以上考虑, 选定两个顶点 $(\rho_1, \theta_1, \Phi_1)$ 和 $(\rho_2, \theta_2, \Phi_2)$ 作为起始点, 然后使网格模型几何中心与原点重合, 对网格模型每个顶点 θ 和 Φ 值进行修改, 即有

$$\begin{cases} \theta_i = \theta_i - \theta_1 \\ \varphi_i = \varphi_i - \varphi_1 \end{cases} \quad (10)$$

然后, 对第一个起始点其他顶点进行二次修正, 即

$$\varphi_i = \varphi_i - \varphi_2 \quad (11)$$

3.3 防伪水印嵌入算法的工作步骤

对缩小图像采用离散余弦变换 (Discrete Cosine Transform, DCT) 进行二维分块, 可以嵌入更多的防伪水印信息, 同时可减少缩小图像特征萎缩带来的影响, 因此将矩阵 I 继续分为若干个 8×8 的矩阵, (M 为其中一个矩阵), 然后对 M 进行 DCT 变换, 得到 DCT 系数矩阵 E , 共有 64 个系数, 最后采用粒子群优化算法选择 10 个最佳嵌入位置进行防伪水印嵌入。防伪水印嵌入算法的工作步骤如下:

step1: 设置粒子群算法的相关参数。

step2: 产生防伪水印序列 $W_i \in \{0, 1\}, i = 1, 2, \dots, s$, s 为防伪水印序列长度。

step3: 初始化粒子群 P_k , 每一粒子的位置串对于嵌入防伪水印的位置, 且迭代次数 $k = 1$ 。

step4: 设 ΔM_t 为 M 每个元素嵌入防伪水印前后的差值, Q_t 为 I 第 t 个格子中的顶点数目, 则有

$$\Delta M_t = M_t' - M_t \quad (12)$$

三维网格缩小图像模型每个顶点嵌入防伪水印后的 r 值为

$$r_t' = r_t + Q_t \times \Delta M_t, t = 1, 2, \dots, 64 \quad (13)$$

那么, 粒子适应度函数值为三维网格缩小图像模型嵌入防伪水印前后所有顶点 r 之和的差值为

$$\Delta r = \sum_{t=1}^{64} \Delta r_t = \sum_{t=1}^{64} (r_t' - r_t) \quad (14)$$

根据式 (14) 计算每一个粒子群的适应度值。

step5: 更新粒子的速度和位置。

step6: 产生新一代粒子群 $P_{k+1}, k = k + 1$ 。

step7: 计算新一代粒子群个体适应度值。

step8: 将每一个粒子位置分别与 p_i 和 p_g 进行比较, 如果优于 p_i 和 p_g , 那就用该粒子的位置代替 p_i 和 p_g 的位置。

step9: 如果迭代次数大于设定的最大值, 则将 p_g 的位置串进行解码, 得到最优 10 个嵌入位置, 和它们所对应的 DCT 系数数值, 得到嵌入防伪水印矩阵 M' 后, 算法结束。否则, 转 step5, 继续迭代。

step10: 其余的 8×8 矩阵依次采用上述方法, 最终得到防伪水印矩阵 I' , 并嵌入位置信息 L 和相对应的 DCT 系数值 D 。

3.4 防伪水印矩阵逆变换

通过上述方法得到防伪水印矩阵 I' , 将其进行反归一化处理, 矩阵 A' , 计算 A' 和 A 的差值矩阵 ΔA , 即有

$$\Delta A = A' - A \quad (15)$$

所有顶点 ρ 嵌入防伪水印后值为

$$\rho_{ijk} = \rho_{ijk} + \Delta A_{ij} \quad (16)$$

式中, k 为该方格中第 k 个点; ΔA_{ij} 为 ΔA 的第 i 行第 j 列的元素值。

最后根据上述三维网格缩小图像模型顶点修正方法, 恢复修正前顶点, 将所有顶点坐标转换到直角坐标系, 得到嵌入防伪水印后的三维网格缩小图像模型。

3.5 防伪水印提取算法的工作步骤

step1: 考虑到缩小图像由于图像缩小, 相应的图像特征也会相应发生萎缩, 因此, 在特征提取时将待测三维网格缩小图像模型几何中心与直角坐标系原点一一对应, 得到球面坐标系下的坐标 (ρ, θ, Φ) , 根据上述求最大与最小 ρ 方法, 得到两个起始点, 对 θ 和 Φ 值进行二次还原, 将它们划分 N 等分得到, 形成 $N \times N$ 个方格, 计算落入每个小格子中的所有顶点 ρ 值的平均值, 得到一个 $N \times N$ 的二维数值矩阵 I' 。

step2: 将 I' 划分为多个 8×8 的矩阵 M' , 并对它们进行 DCT 变换, 得到系数矩阵 E' , 根据嵌入位置 L 得到其对应的系数数值 $E'_{L(i)}$, 将其与 $D_{L(i)}$ 进行比较, 得到该系数上嵌入的防伪水印信息 W_i' 。

$$W_i' = \begin{cases} 1, & (E'_{L(i)} > D_{L(i)}) \\ 0, & (E'_{L(i)} \leq D_{L(i)}) \end{cases} \quad (17)$$

step3: 对于其他分块矩阵, 依次上述相同的方法, 将防伪水印全部提取出来为止。

step4: 根据原始防伪水印序列 W_i , 计算 W_i' 与 W_i 间的相关系数为

$$Cor = \frac{\sum_{i=1}^S (W_i - \bar{W})(W_i' - \bar{W}')}{\sqrt{\sum_{i=1}^S (W_i - \bar{W})^2 \sum_{i=1}^S (W_i' - \bar{W}')^2}} \quad (18)$$

式中, $\bar{W}$ 表示原始防伪水印序列均值; $\bar{W}'$ 表示提取防伪水印序列的均值。

根据式(18)可知, 相关系统 Cor 越大, 说明两种防伪水印之间相似度就越高, 当 Cor 值越过预先设定的阈值时, 表示待测三维网格缩小图像模型含有防伪水印。

4 仿真实验

4.1 仿真环境

为了验证本文三维网格缩小图像防伪水印方法的抗攻击性和不可见性, 在 P4 双核 2.8 GHz CPU、1 GB 内存, 操作系统为 Windows XP 的仿真环境

下, 采用 Matlab 2009 实现各种算法。防伪水印嵌入强度因子 $\alpha=0.02$, 阈值 $T=0.75$, 采用 200 组三维网格缩小图像进行仿真测试, 其中一组原始三维网格缩小图像模型如图 2 所示。

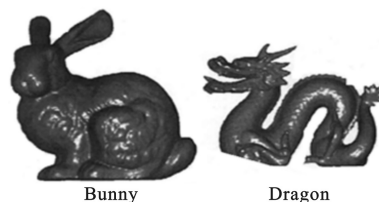
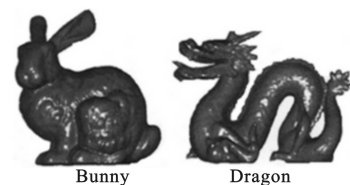


图 2 原始三维网格缩小图像模型

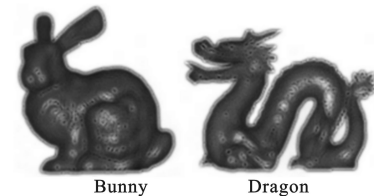
4.2 性能分析

4.2.1 本文算法的防伪水印嵌入效果

采用本文算法和传统算法对图 2 中三维网格缩小图像模型进行防伪水印嵌入, 得到的效果如图 3 所示。从图 3(a)可知, 本文算法由于充分考虑了图像缩小后的影响, 因此嵌入防伪水印后的三维网格缩小图像模型与嵌入之前仅发生了一些微弱的变化, 但是相比于图 3(b)传统算法, 本文算法对视觉特征保留得较好, 总体形状没有发生改变, 表明本文提出的三维网格缩小图像防伪算法具有较强的抗攻击性, 同时具有较好的防伪水印不可见性, 解决了防伪算法存在的抗攻击性和不可见性间的矛盾。



(a) 本文算法对缩小图像嵌入水印后效果



(b) 传统算法对缩小图像嵌入水印后效果

图 3 防伪水印嵌入三维网格缩小图像模型

4.2.2 各种算法抗攻击性能测试

(1) 抗随机噪声攻击性能。随机向原始三维网格缩小图像模型添噪音破坏三维网格缩小图像模型数据进行破坏, 噪音范围为 $[0.5\%, 5\%]$, 同时采用传统算法的三维网格缩小图像防伪方法作为对比实验, 它们原始模型和遭到攻击后的模型的 Cor 值如表 1 所示。

表 1 抗随机噪声攻击结测试果

噪声攻击强度	本文算法		传统算法	
	Bunny	Dragon	Bunny	Dragon
0.5%	0.968	0.950	0.966	0.943
1%	0.924	0.917	0.920	0.909
3%	0.785	0.762	0.727	0.712
5%	0.782	0.718	0.714	0.702

从表 1 可知,本文算法的 Cor 值均大于阈值 0.7,说明,针对缩小图像本文算法完全可以抵抗各种噪声的攻击,而传统算法的 Cor 值明显低于本文算法,其抗噪声攻击性能不如研究算法。

(2) 抗剪切攻击性能测试. 在保证两个起始点不变条件下,对 Bunny 和 Dragon 三维网格缩小图像模型进行剪切,最高率剪切为 25%,它们的测试结果见表 2. 从表 2 可知,当前剪切率小于 20%,本文算法的 Cor 值均大于阈值 0.7,这表明此时本文算法完全可以抵抗各种剪切攻击,当剪切率大于 25%时,相关系数 Cor 小于阈值,防伪水印算法的抗攻击性较差,但通常情况,剪切率不会超过 25%,同时本文算法性能要明显优于传统算法。

表 2 抗剪切攻击结测试果

剪切率	本文算法		传统算法	
	Bunny	Dragon	Bunny	Dragon
5%	0.860	0.778	0.737	0.734
10%	0.779	0.705	0.721	0.718
20%	0.734	0.725	0.706	0.708
25%	小于阈值	小于阈值	小于阈值	小于阈值

5 结束语

针对当前三维网格缩小图像防伪水印算法存在的不足,本文提出了一种考虑图像缩小后特征萎缩的防伪水印算法. 仿真结果表明,本文算法可以抵抗各种攻击,抗攻击性较强,且具有良好的不可见性,并通过对传统防伪水印算法进行对比,验证了本文三维网格缩小图像防伪水印算法的优越性,具有较

好的实用价值.

参考文献:

- [1] 金聪. 防伪理论与技术[M]. 北京:清华大学出版社, 2008.
- [2] 王新宇, 詹永照. 3D 模型防伪研究进展[J]. 计算机工程与应用, 2005, 41(27): 25-29.
- [3] 张静, 郑国勤. 基于几何特征的三维网格缩小图像防伪算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2005, 17(4): 740-747.
- [4] 张琴, 向辉, 孟祥旭. 基于复数小波域的图形防伪水印方法[J]. 中国图象图形学报, 2005, 10(4): 494-498.
- [5] 李淑敬, 李林国. 一种 DCT 变换的三维网格缩小图像物体盲防伪水印方法[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(27): 81-83.
- [6] 顾耀林, 李林国, 李淑敬. 基于小波变换的三维网格缩小图像物体盲防伪水印方案[J]. 计算机应用研究, 2008, 25(1): 263-265.
- [7] Li L, Zhang D, Pan Z G, et al. Watermarking 3D mesh by spherical parameterization [J]. Computers & Graphics, 2004, 28(6): 981-989
- [8] 金振训, 金津镇, 钱杰, 等. 一种嵌入式系统解码的高压缩比无损图像压缩算法[J]. 科技通报, 2013, 9(29): 130-132.
- [9] 陈业纳, 徐则同. 无线传感器网络最小连通覆盖的节能算法[J]. 计算机仿真, 2014, 31(3): 324-327.
- [10] 魏志成, 戴居丰, 李昊. 基于遗传算法的图像防伪[J]. 计算机工程, 2007, 33(17): 146-148.
- [11] 孙媛媛, 胡敏. 一种三维网格缩小图像模型零防伪水印算法[J]. 微电子学与计算机, 2010, 27(3): 170-172.

作者简介:

王明蓉 女, (1977-), 硕士, 讲师. 研究方向为数字图像处理.

(上接第 150 页)

- [7] Tam W M, Lau F, Tse C K. A class of QC-LDPC codes with low encoding complexity and good error performance[J]. IEEE Commun Lett, 2010, 14(2): 169-171.

作者简介:

徐华 男, (1975-), 博士, 副教授. 研究方向为信道编码、协作通信及压缩感知等.